# 刁泉银铜矿床硫化物次生富集特征

王永明,王建国,宋纯利

(中国冶金地质勘查工程总局 第三地质勘查院,山西 忻州034000)

摘 要: 通过对刁泉银铜矿物分带性、生成顺序及硫同位素的研究,阐明了矿区次生氧化带中含
铜矿物的富集规律及生成顺序,指出次生富集作用对银铜矿石的富集具有控制作用。
关键词: 刁泉银铜矿;硫化物;次生氧化带;山西省
中图分类号: P611;P618.4 文献标识码: A 文章编号:1001-1412(2003)02-0122-04

近年来,随着地质找矿深度的加大,发现了一批 由次生作用形成的硫化物富铜矿床,当原生矿石品 位达不到工业要求时,次生硫化矿石就成为主要的 开采对象,大大提高矿床的工业价值。刁泉银铜矿床 中次生硫化物富集亚带就是矿床富铜矿体所在。

刁泉银铜矿床位于中生代燕山断块广灵—蔚县 块坳南东端,处于早前寒武纪阜平地体与怀安地体 拼贴带中。

区域出露地层主要为中上元古界长城系、蓟县 系、青白口系和古生界寒武系、奥陶系。构造主要以 断裂构造为主, NE 向峡峪界—四角台宽缓背斜控制 了区域地层分布和整体构造骨架。燕山期强烈的岩 浆活动为矿体的形成创造了条件。岩体产状以岩株、 岩床、岩脉、岩被为主。

- 1 矿区地质概况
- 1.1 地层

矿区地层由老到新依次出露有蓟县系、青白口 系、寒武系、奥陶系、侏罗系及第四系。岩层走向 30° ~50°,倾向 NW,倾角 10° 50°,呈单斜分布。由于受 刁泉、小彦—枪头岭两岩体的影响,在岩体边部 200 ~500 m 范围内产生了不同程度的大理岩化、角岩 化,致使地层划分标志不明显或消失。

1.2 岩浆岩

矿区由主要出露有刁泉花岗斑岩体和中酸性、中 基性脉岩。刁泉岩体呈岩株状产出,平面上近似圆形, 剖面上呈岩筒状,岩体的主体岩石为花岗斑岩,靠近 边部局部出现黑云母石英二长岩和辉长岩。岩体侵入 于寒武系和奥陶系碳酸盐岩中,接触带出现热变质 (角岩化、大理岩化)和热液蚀变(绢云母化、钠长石 化、钾长石化、硅化、夕卡石化和碳酸盐化)现象。

1.3 构造

矿区位于NW向与NE向两大断裂的交叉处, 褶皱构造在该区不发育,以断裂构造为主,其次为接 触带构造,这些构造为成矿提供了有利的通道和赋 存空间。

1.4 矿带分布

矿带环绕刁泉岩体分布,环带总长为300余米, 银铜矿体主要产于刁泉岩体与寒武系中、上统灰岩 相接触而形成的夕卡岩带内(图1)。

### 2 刁泉银铜矿床硫化物次生氧化带

刁泉银铜矿为一与中生代次火山岩有关的夕卡 岩型中低温热液矿床,该矿床经历了长期的次生氧 化淋滤作用,分带现象比较明显,自上而下依次为氧 化带、还原带和原生带(图2)。

2.1 氧化带

介于地面与潜水面之间,在这个带内饱和氧及 二氧化碳的地下水向下淋滤,发生了强烈的氧化作 用和溶解作用,形成矿床的铁帽亚带和氧化矿石富 集亚带。本区潜水面较低,由于降雨量不均所引起的 潜水面波动较大,矿床氧化深度有所不同。氧化带铜 品位一般为 w(Cu)=0.3%~0.5%。

2.2 还原带

介于潜水面与本区侵蚀基准面之间,是地下水 的饱和地带,含有较高的盐类,呈中性或弱碱性。

收稿日期: 2003-01-24; 修订日期: 2003-04-25

作者简介: 王永明(1972-), 男, 山西阳泉人, 工程师, 毕业于北京科技大学资源工程学院, 一直从事金属矿山地质工作。



### 图1 刁泉矿区地质图

Fig. 1 Geological map of Diaoquan Ag-Cu deposit 1. 凝灰角砾岩夹流纹质熔岩 2. 安山质角砾岩及凝灰岩 3. 凝灰 角砾岩 4. 奥陶系大理岩 5. 寒武系大理岩 6. 夕卡岩 7. 矿体 及矿化带 8. 花岗斑岩 9. 辉长岩 10. 闪长玢岩脉 11. 石英安 山岩 12. 角闪安山岩 13. 细晶岩脉 14. 煌斑岩脉 15. 粗粒玄 武岩 16. 背斜轴 17. 断裂 18. 破碎带 19. 推测岩筒边界或环 形断裂



#### 图 2 刁泉银铜矿地质剖面图

Fig. 2 Geological section of Diaoquan Ag-Cu deposit
1. 残坡积物 2. 大理岩 3. 花岗斑岩 4. 黑云母花岗岩 5. 夕卡岩 6. 表内银铜矿体 7. 表外银铜矿体 8. 地质界线 9. 矿体界线 10. 钻孔位置 11. 平硐 12. 穿脉位置 氧化带: 铁帽亚带; 氧化矿石富集亚带

氧化带: 铁帽亚带; 氧化物 石富栗亚特 还原带: 次生硫化物富集亚带 原生带: 原生硫化物矿石带

表1 刁泉银铜矿钻孔物相分析结果及氧化率计算

Table 1 Physical phase analysis and ore oxidation percentage calculation from drill core

一十中旦	<sup>남</sup> 는 므	采样深度(m)		样长	w <sub>B</sub> / %			矿	石	氧化类型/		赋存标高
工作与	1775	自	至	( m )	Cu	CuO	-¥1115 <i>平(%)</i>	名 称	称	氧化率	<b>运厚</b> (m)	( m)
	5	46.81	50	3.19	0.32	0.099	30. 94	AgO	Cuy	0/30.94%	3.19	1757.65 ~ 1754.48
ZK 43047	24	162.52	164.43	1.91	1.10	0.086	7.82					
	25	169. 08	165.61	1.18	3.27	0.34	10.40					
	26		167.38	1.77	1.11	0.077	6.94				45.46	1767. 03 ~ 1621. 09
	28		170.64	1.56	0.40	0.063	15.75					
	29		172.22	1.58	0.69	0.125	18.12					
	30		174.47	2.25	1.23	0.093	7.56		AgCu	Cu S+ 0/ 11.33%		
	31		175.51	1.04	0.75	0.10	13.33	Ag				
	32		177.01	1.50	1.08	0.077	7.13					
	33		178.66	1.65	2.03	0.13	6.40					
	34		180.63	1.97	2.06	0.26	12.62					
	35		181.65	1.02	1.06	0.22	20.75					
	36		183.15	1.50	1.14	0.15	13.16					
ZK 43048	3	185.95	188.95	3.00	0.39	0.01	2.56	Ag	Cu	S/2.56%	3.00	1606. 24 ~ 1603. 60
	6	193.96	196. 92	2.96	0.13	0.01	7.69	AgO	Cuy	S/7.69%	3.00	1598. 70 ~ 1595. 80

注: AgCu-银铜矿; AgCuy-表外银铜矿; O-氧化带矿石(氧化率 30%); S+ O-还原带矿石(氧化率 10% ~ 30%); S-原生带矿石(氧化率 10%)。

潜水面与地形起伏相适应,在这个带内,地下水 呈水平方向流动,其速度比较缓慢,随着带内深度的 增加,氧的含量逐渐减少,还原作用逐渐增强,是硫 化矿床主要次生富集带,构成矿床的次生硫化物富 集亚带。该带是矿区银矿的富集带,带内铜品位*w* (Cu)=1.0%~3.0%。

2.3 原生带

位于侵蚀基准面以下,也就是停滞水带。该带地下水几乎停滞不动,不含或很少含游离氧,地下水与原生矿物保持平衡状态,原生矿物不发生任何变化,成为本矿床的原生硫化物矿石带。该带铜品位与还原带基本相同,为易选矿石。

从表1可以看出,分带现象基本与地形起伏相 适应,氧化带深度约为40~160m,还原深度约为 170~185m,190m以下深度基本为原生带。

### 3 刁泉矿床氧化带和还原带的地球化 学演化

由于不同元素的迁移能力不尽相同,随着深度 的变化带来氧化还原电位产生变化,因而在矿床的 硫化物次生氧化带中出现了铁帽亚带和氧化矿石富 集亚带,在还原带中出现次生硫化矿石富集亚带(图 3)。

3.1 铁帽亚带

该带的形成是原生硫化物(黄铁矿、黄铜矿等) 中亚铁在游离氧、水的作用下,溶解、迁移、沉淀和脱 水的结果,其变化过程为硫化物中的亚铁 硫酸亚 铁 硫酸铁 氢氧化铁 褐铁矿:

2FeS2+ 7O2+ 2H2O → 2FeSO4+ 2H2SO4 (含铁硫化物) (硫酸亚铁)

由于硫酸亚铁在存在游离氧的情况下很不稳 定,很快就会变成硫酸铁:

 $4FeSO_4 + 2H_2SO_4 + O_2 \longrightarrow 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O_4$ 

硫酸铁在弱酸溶液中易于水解,形成氢氧化铁: Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>+ 6H<sub>2</sub>O → 2Fe<sub>(</sub>OH)<sub>3</sub> + 3H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

难溶的氢氧化铁沉淀后,经过脱水,变成褐铁 矿:

褐铁矿残留在氧化带内同其他残留矿物一起构 成铁帽,是本区寻找铜矿的重要标志。 本区铁帽亚带主要分布在地表,厚0.5~1m, 见有褐铁矿、针铁矿和少量赤铁矿,偶见有孔雀石和 蓝铜矿。在褐铁矿中,见有次生银金矿细脉并在其中 见到自然铜。

3.2 氧化矿石富集亚带

在游离氧的作用下, 各种硫化铜矿物先氧化成 硫酸铜, 硫酸铜溶于水, 在氧化带内向下淋滤:

> CuFeS2+ 4O2→CuSO4+ FeSO4 (黄铜矿)

当硫酸铜溶液遇到碳酸盐类围岩时,发生复分 解反应,形成孔雀石、蓝铜矿等在氧化带中较稳定的 矿物:

$$2CuSO_{4} + 2CaCO_{3} + H_{2}O \longrightarrow$$

$$Cu(OH)_{2} \cdot CuCO_{3} + 2CaSO_{4} + CO_{2}$$
(孔雀石)  
3CuSO\_{4} + 3CaCO\_{3} + H\_{2}O \longrightarrow
$$Cu(OH)_{2} \cdot 2CuCO_{3} + 3CaSO_{4} + CO_{2}$$
(蓝铜矿)

由于本区的碳酸盐类不纯,常含泥质夹层,硫酸 铜溶液有选择地和碳酸盐反应,在泥质岩层的隔挡 之下,矿化集中,交代彻底,易于形成工业富矿体,因 而含泥质岩夹层的不纯碳酸盐岩是该区寻找富氧化 铜矿的标志。

本区氧化矿石富集亚带一般不连续,主要发育 在以碳酸盐岩为围岩的地段,可见有黑铜矿、赤铜矿 和自然铜,主要铜矿物为孔雀石,呈不规则状、放射 状、针状集合体嵌布于脉石矿物中,有时沿脉石矿物 裂隙充填,呈脉状、网脉状。在孔雀石的周围,由于铜 离子的作用,部分脉石矿物被铜离子污染形成染色 体。

3.3 次生硫化物矿石富集亚带

当硫酸铜溶液淋滤到潜水面以下,进入还原带时,与原生硫化物反应形成含铜更富的次生硫化铜 矿物,如铜蓝、辉铜矿等:

CuSO<sub>4</sub>+ CuFeS<sub>2</sub> 
$$\longrightarrow$$
 2CuS+ FeSO<sub>4</sub>  
(铜蓝)  
CuSO<sub>4</sub>+ ZnS  $\longrightarrow$  CuS+ ZnSO<sub>4</sub>  
(铜蓝)  
14CuSO<sub>4</sub>+ 5FeS<sub>2</sub>+ 12H<sub>2</sub>O  $\longrightarrow$   
7Cu<sub>2</sub>S+ 5FeSO<sub>4</sub>+ 2H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>  
( 辉铜矿)

这些新生的更富铜的硫化铜矿物叠加在一起, 就形成了硫化物矿石富集亚带。

随着侵蚀切割作用的加深,潜水面不断下降,以 至于已形成的次生硫化富铜矿体的一部分高出潜水 面之上,而使其中的高铜次生硫化铜矿物再次氧化, 形成新的氧化矿物如赤铜矿、自然铜等,于是就在氧 化带的底部再次出现氧化矿石富集亚带,其反应如 下:

4Cu<sub>2</sub>S+ 9O<sub>2</sub>-----4Cu<sub>5</sub>O<sub>4</sub>+ 2Cu<sub>2</sub>O(完全的次生氧化) (辉铜矿) (赤铜矿) Cu<sub>2</sub>S+ 2O<sub>2</sub>------Cu+ Cu<sub>5</sub>O<sub>4</sub>(不完全的次生氧化) (辉铜矿) (自然铜)

本区次生硫化物矿石富集亚带厚可达几十至上 百米,其中矿石矿物成分十分复杂,包括辉铜矿、赤 铜矿、斑铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝、黄铜矿、银金矿、硫铋 铜矿,针硫铜矿、银铜金矿等,并且有大量孔雀石和 少量褐铁矿,矿物的交代关系十分明显,常生成交代 环带。在斑铜矿、辉铜矿中含有大量的银金矿、硫铋 铜矿、针硫铜矿、银铜金矿等,也是银矿的富集带。 3.4 原生硫化物矿石带

次生硫化铜矿物富集亚带下面是几乎不发生任 何变化的原生硫化物矿石带。该带中黄铜矿是矿石 中的主要矿物,呈不规则状嵌布于脉石矿物中,与斑 铜矿、蓝辉铜矿关系较密切,常紧密共生。蓝辉铜矿 在黄铜矿边缘形成镶边结构,由于熔体分离的作用, 黄铜矿有时呈格状嵌布在斑铜矿中。黄铜矿与银矿 关系也较密切,在黄铜矿中可见有自然银、银黝铜矿 等包体。有时黄铜矿也呈细粒星点状、毛发状嵌布于 脉石矿物中。

硫化矿物变化可以分为原生硫化物阶段、次生 硫化物阶段和氧化矿物阶段。原生硫化物阶段是一 个连续的矿物生成过程,主要以黄铜矿、黄铁矿、斑 铜矿、辉铜矿等含铜硫化物为主,次生硫化物阶段主 要包括以斑铜矿、辉铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝等为主的 次生硫化物。氧化矿物阶段主要包括以赤铜矿、黑铜 矿、孔雀石、自然铜等为主的次生氧化物(表 2)。

### 表 2 刁泉银铜矿含铜矿物生成阶段划分

Table 2 Formation stages of Cu-bearing minerals

金属矿物	原生硫化物阶段	次生硫化物阶段	氧化矿物阶段
黄铁矿		_	
黄铜矿		_	
斑铜矿			
辉铜矿			
蓝辉铜矿			_
铜蓝			
孔雀石			
黑铜矿			
赤铜矿			
自然铜			

#### 参考文献:

- [1] 斯米尔诺夫. 硫化矿床氧化带[M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [2] 周绍芝. 晋东北地区银(金) 矿成矿特征及远景浅 析[J]. 地质与勘探, 1993, (3).
- [3] 李生元,李兆龙,林建阳,等.晋东北次火山岩型银锰金矿[M].
   北京:中国地质大学出版社,2000.
- [4] 刘新江,王建国,林建阳.山西省灵丘县刁泉银铜矿 40~61 线 勘探报告[R].太原:中国冶金地质勘查工程总局第三地质勘查 院,1995.

## SECONDARY ENRICHMENT FEATURES OF DIAOQUAN Ag-Cu DEPOSIT AND THE ORE-SEARCHING DIRECTION

WANG Yong-ming, WANG Jian-guo, SONG Chun-li

(The third Geological Exploration Institute China Metallurgical Geoexploration & Engineering Bureau, Shanxi Xinzhou 034000, China)

**Abstract:** The paper deals with oxidation enrichment pattern of Cu-minerals and the paragenesis in the oxidntion zone through analysis of Ag-Cu mineral zonation, paragenetic assemblages of the minerals and S-isotope. Rich ore is controled by the secondary enrichment.

Key words: Diaoquan silver and copper deposit; sulphide; secondary oxidation zone; Shanxi province